Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 2, May-June 2022, p. 237-249

Evaluating TOPSIS Method in Prioritizing Lands for Saffron Cultivation

M. Eskandari[1*], A. Zeinadini[2], M.N. Navidi[3], A. Salmanpour[4]

Received: 01-01-2022 Revised: 10-01-2022 Accepted: 17-04-2022 Available Online: 21-07-2022	**How to cite this article:** Eskandari M., Zeinadini A., Navidi, M.N., and Salmanpour A. 2022. Evaluating TOPSIS Method in Prioritizing Lands for Saffron Cultivation. Journal of Water and Soil 36(2): 237-249. (In Persian with English abstract) **DOI:** 10.22067/JSW.2022.74195.1125

Introduction

Saffron, which its cultivation is compatible with the arid and semi-arid climate of Iran, is one of the most valuable agricultural products in the world. Therefore, the cultivation of this crop in different parts of the country has been enormously developed in recent years. More than 95% of the world production of this precious product is allocated to Iran, which is mainly located in the two provinces of Khorasan Razavi and Southern Khorasan. The objective of this study was to determine the priority of lands for saffron cultivation by using TOPSIS method. Furthermore, in this study, TOPSIS, which is the second most widely used approach among multi-criteria decision making methods, was compared with the conventional parametric one to assess the land suitability for saffron production.

Materials and Methods

To achieve the objective of this study, 135 saffron farms in Khorasan Razavi, Southern Khorasan, Fars, Markazi and Kerman provinces were selected. In each farm, one pedon was dug and studied in detail. Soil samples were collected from different horizons of the pedons and taken to the laboratory for the designated physicochemical analyses. The average quantity of saffron yield in the last three years was recorded for each study point. The selected areas did not have climatic restrictions for saffron cultivation. For this purpose, in addition to local experience, the climate suitability index was calculated using the saffron climatic requirement table by its phenological period in each region. The effective soil criteria conditioned on the saffron yield were obtained using statistical analyses. By constructing a decision matrix and normalizing it, weighting the criteria by ranking order method and constructing a weighted matrix, determining the positive and negative ideal and then calculating the relative proximity of each alternative to the positive ideal, the preference of each alternative by TOPSIS method for saffron cultivation was determined. Then, the prioritization of alternatives was compared with the actual yield of saffron. Soil suitability index was also calculated using the table of soil and landscape requirements for saffron, and then compared with actual yield. Finally, the two schemes were validated and compared with each other.

Results and Discussion

The climate suitability index for saffron cultivation in the five studied areas indicated that the climate conditions in all areas were relatively similar. Consequently, soil properties can be considered as the only factors affecting the priority of lands for saffron cultivation in the studied areas. The results further revealed that three variables of lime content, salinity and exchangeable sodium percentage of soils under saffron cultivation in the country were higher than the critical level for saffron production. Therefore, these three variables are considered as the most important soil properties affecting the saffron yield. The order of weights assigned to the variables included salinity, exchangeable sodium percentage, lime, gravel, gypsum, organic carbon and soil reaction.

1, 2 and 3- Assistant Professors, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: m.skandari@areeo.ac.ir)
4- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Khorram Abad, Iran

Comparison of the order of priority of 135 options by TOPSIS with the actual yield of saffron showed an acceptable accuracy ($R^2 = 0.92$) for this method. The soil index calculated by the parametric square root method for 135 soil profiles was also compared with the actual yield. The coefficient of determination obtained in this case was about 0.9, showing that TOPSIS was able to determine the suitability of lands for saffron cultivation better than the parametric method. Due to the ability of TOPSIS to evaluate a large number of evaluation criteria, this method is superior to the parametric method, which can consider a maximum of eight criteria in estimating the index.

Conclusion

The outcome of this study showed a high accuracy of TOPSIS method in determining land suitability for development of saffron cultivation. This method is well able to use a large number of criteria that have negative or positive effects on the priority of alternatives. Furthermore, depending on the conditions of the decision making problem, one of the methods of weighting the criteria can be employed and combined with the TOPSIS method. The high accuracy of this method can be attributed to the use of mathematical relationships and matrices, data standardization by Euclidean soft method, and the nature of comparing both distances from the positive and negative ideals.

Keywords: Crop development, Land suitability, Multi-criteria decision making, Yield

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۱، ص ۲۴۹-۲۳۷

بررسی کارآیی روش TOPSIS در اولویت‌بندی اراضی برای کشت زعفران

مهناز اسکندری[۱*]- علی زین الدینی میمند[۲]- میرناصر نویدی[۳]- آناهید سلمان‌پور[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۸

چکیده

کشت زعفران به دلیل ارزش اقتصادی و سازگاری آن با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران، در سال‌های اخیر توسعه بسیاری داشته است. هدف از این پژوهش، بررسی کارآیی روش تاپسیس در اولویت‌بندی اراضی برای اختصاص به کشت زعفران و مقایسه آن با روش پارامتریک ریشه دوم بود. بدین‌منظور، ۱۳۵ مزرعه زعفران در استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی، فارس، مرکزی و کرمان، انتخاب و یک خاکرخ در هر مزرعه، حفر، مطالعه و نمونه‌گیری شد. آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی لازم روی نمونه‌ها انجام گردید. متوسط مقدار عملکرد زعفران در سه سال گذشته برای هر نقطه مطالعاتی نیز بدست آمد. به کمک تحلیل‌های آماری، معیارهای موثر خاکی بر عملکرد زعفران بدست آمد. ماتریس تصمیم نرمال‌شده وزن‌دار به روش رتبه‌بندی ساخته شد. با تعیین ایده‌آل‌های مثبت و منفی، اولویت گزینه‌ها به روش تاپسیس برای کشت زعفران تعیین شد و با عملکرد واقعی زعفران مقایسه گردید. نتایج نشان داد که مقدار سه متغیر کربنات کلسیم معادل (CCE)، شوری و سدیمی بودن خاک‌ها در اراضی تحت کشت زعفران در کشور، از آستانه مجاز برای کشت این گیاه بیشتر است. بنابراین سه متغیر ذکرشده از مهم‌ترین ویژگی‌های موثر خاک بر عملکرد زعفران هستند. ترتیب وزن‌های اختصاص‌یافته به متغیرها به ترتیب شامل شوری، درصد سدیم قابل‌تبادل، CCE، سنگریزه، گچ، کربن آلی و واکنش خاک بود. مقدار ضریب تبیین حاصل از مقایسه ترتیب اولویت‌های ۱۳۵ گزینه با عملکرد مشاهده شده زعفران به روش تاپسیس، ۰/۹۱ بدست آمد. این مقدار برای شاخص خاک با عملکرد به روش پارامتریک، ۰/۹۰ بود. بنابراین، روش تاپسیس ابزاری توانمند در تعیین اولویت گزینه‌ها بود و در تعیین تناسب اراضی برای توسعه کشت، قابل کاربرد است.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، تناسب اراضی، توسعه کشت، عملکرد

مقدمه

زعفران ازجمله محصولات صادراتی کشاورزی ایران است که تولید آن در وضعیت اقتصادی و اجتماعی زعفران‌کاران که عمدتاً در مناطق خشک و کم باران زندگی می‌کنند، تأثیر شایانی دارد. این گیاه به‌عنوان سلطان ادویه جهان شناخته می‌شود و ازگران‌بهاترین محصولات کشاورزی است (Zeinadini *et al*., 2019). بیش از ۹۵٪ تولید جهانی این محصول گران‌بها به ایران اختصاص دارد که به طور عمده در دو استان خراسان رضوی و جنوبی واقع شده است (Zeinadini *et al*., 2022). به دلیل کشت گیاه زعفران در فصول سرد سال و درنتیجه نیاز کمتر آن به آبیاری، همچنین ایجاد اشتغال و ارزآوری، کشت این گیاه در سال‌های اخیر در بسیاری از مناطق کشور مورد توجه قرار گرفته است (Vafabakhsh, 2003). با این حال، توسعه کشت یک گیاه زمانی پایدار است که همراه با برنامه‌ریزی و شناخت پتانسیل اراضی برای تولید آن باشد. در این راستا می‌توان از ارزیابی تناسب اراضی که فرآیند تخمین پتانسیل اراضی برپایه ویژگی‌های آن است (Bagherzadeh and Gholizadeh, 2017) کمک گرفت.

روش‌های متعددی تاکنون برای ارزیابی تناسب اراضی و

۱، ۲ و ۳- استادیاران پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.skandari@areeo.ac.ir)
۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران
DOI: 10.22067/JSW.2022.74195.1125

صحت‌سنجی آن‌ها ارائه شده است (Seyedmohammadi *et al.*, 2018). بیشتر این روش‌ها برپایه چارچوب ارزیابی اراضی است که در سال ۱۹۷۶ توسط FAO (FAO, 1976) ارائه شد. شناخته‌شده‌ترین روش در این زمینه که از گذشته مورد استفاده قرار می‌گرفته و هنوز هم کاربرد آن مورد علاقه پژوهشگران است، روش سایس و همکاران می‌باشد (Sys *et al.*, 1991). به عنوان مثال زین‌الدینی و همکاران (Zeinadini *et al.*, 2022)، پژوهشی را به منظور تهیه جدول نیازهای رویشی زعفران از نظر خاک و زمین‌نما، برای استفاده در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی به روش سایس و همکاران (Sys *et al.*, 1991)، انجام دادند. در این پژوهش، نمونه‌های خاک از ۱۲۴ مزرعه زعفران در شش استان کشور، جمع‌آوری شد. سپس با برقراری روابط رگرسیون ساده بین ویژگی‌های خاک و عملکرد زعفران، درجه‌بندی خصوصیات خاک صورت گرفت و جدول نیاز رویشی برای زعفران، تهیه شد. در نهایت شاخص خاک برای ۲۱ مزرعه جدید به کمک جدول پیشنهادی محاسبه و با مقدار عملکرد واقعی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در داده‌های صحت‌سنجی، ضریب تبیین میان عملکرد و شاخص خاک در حدود ۰/۹۲ می‌باشد که نشان‌دهنده دقت قابل‌قبول جدول پیشنهاد شده است. پژوهش‌های مشابه دیگری نیز برای تهیه جدول نیازهای رویشی خاک و زمین‌نما برای محصولات متعدد مانند خرما (Zeinadini *et al.*, 2020) پسته (Zeinadini *et al.*, 2020)، انجیر (Zeinadini *et al.*, 2021)، نیشکر (SeyedJalali *et al.*, 2020) و پنبه (SeyedJalali *et al.*, 2021) انجام شده است.

هرچند که روش متداول ارائه شده برای ارزیابی تناسب اراضی توسط سایس و همکاران (Sys *et al.*, 1991)، نتایج مناسبی را تاکنون ارائه داده است، لیکن بحث نابرابری اهمیت معیارهای موثر در ارزیابی نیز مطرح است. یکسان نبودن اهمیت معیارهای دخیل در ارزیابی، باعث پیچیدگی بیشتر این مسأله می‌شود (Pilevar *et al.*, 2020). بنابراین پژوهشگران متعددی در دهه‌های اخیر، روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)[1] و بویژه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[2] را برای حل مسائل تعیین تناسب اراضی به کار گرفته‌اند. این روش‌ها، به حل مسائلی می‌پردازند که در آن‌ها باید گزینه‌های متعددی را برپایه معیارهای مختلف، مورد ارزیابی قرار داد. به عنوان مثال قابلیت تناسب اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت دیم، به کمک MCDM و GIS، توسط کاظمی و آکنیسی بررسی شد (Kazemi and Akinci, 2018). نیازهای محیطی کشت دیم در این پژوهش، به کمک بررسی منابع پیشین و تکمیل پرسشنامه از منابع آگاه و متخصص، جمع‌آوری شد. سپس برپایه کلاس‌های تناسب پیشنهادی فائو، طبقه‌بندی گردید. نقشه‌های موضوعی برخی متغیرهای محیطی مربوط به خاک، اقلیم و توپوگرافی در محیط GIS تهیه شد. معیارهای تناسب به روش AHP وزن‌دهی و به روش آنالیز همپوشانی با هم ترکیب شدند. برپایه نتایج بدست آمده در حدود ۵۶٪ اراضی استان قابلیت کشت دیم را داشتند. پیله‌ور و همکاران (Pilevar *et al.*, 2020)، از ترکیب Fuzzy-AHP-GIS برای ارزیابی تناسب اراضی در کشت گندم و ذرت مناطق نیمه‌خشک (خاک‌های شور و آهکی شرق ایران) استفاده کردند. نخست داده‌های اقلیمی، خاک و توپوگرافی تبدیل به فرمت فازی شدند. سپس مدل ارزیابی دقیقی برای ارزیابی اراضی با ترکیب AHP و Fuzzy در محیط GIS توسعه دادند. بیشترین وزن به بافت خاک و کمترین وزن به ESP اختصاص یافت. نتایج نشان داد که در حدود ۱۵، ۷۸ و ۷ درصد از اراضی مورد مطالعه برای کشت ذرت به ترتیب دارای تناسب زیاد، متوسط و اندک است. همچنین ترکیب روش‌های به‌کار گرفته شده ابزاری قدرتمند برای مدیریت و برنامه‌ریزی استفاده از اراضی کشاورزی تشخیص داده شد.

روش تاپسیس (TOPSIS)[3]، دومین روش پرکاربرد و شناخته شده از روش‌های MCDM، پس از روش AHP است (Celikbilek and Tuysuz, 2020). دلیل کاربردی بودن آن را می‌توان سادگی استفاده از این روش برای حل چالش‌هایی دانست که با تعداد زیادی معیار و گزینه سروکار دارند (Celikbilek and Tuysuz, 2020؛ Wang *et al.*, 2017). رویکرد تاپسیس، ابزار و اهرم مناسبی برای تعدیل و کنترل میزان موازنه و جبران‌پذیری بین معیارها (ویژگی‌های خاک و اراضی) است که باعث ارزیابی سریع و تفسیر مناسب نتایج و ارتباط بین معیارها می‌شود. از قابلیت‌های دیگر این روش می‌توان به توانایی آن در ترکیب داده‌های نامتجانس (معیارهای اثر مثبت مثل عمق مفید خاک و اثر منفی مانند درصد سدیم قابل تبادل) با استفاده از دانش خبره، انعطاف‌پذیری در انتخاب داده‌های مناسب برای مناطق و مسائل مختلف، ایفاء تصمیم‌گیری گروهی یا منفرد و استقلال در توسعه سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری، اشاره کرد (Seyedmohammadi *et al.*, 2017). وفائی‌نژاد (Vafaeinejad, 2016)، در پژوهش خود نشان داد که کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS، می‌تواند در انتخاب محصولات بهینه برای طراحی و تهیه الگوی کشت یک منطقه بسیار کارآمد باشد. در این پژوهش، نخست اراضی برای بخش جلگه از توابع استان اصفهان برای کشت هشت محصول زراعی، به کمک معیارهای اقتصادی، نیاز آبی و دوره

1- Multi criteria decision making
2- Analytical hierarchy process

3- Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

رشد محصول، اولویت‌بندی شد. سپس به کمک قابلیت‌های مکانی GIS و ترکیب آن با اطلاعات بهینه‌سازی شده، نقشه الگوی کشت مناسب منطقه تهیه گردید.

پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که کاربرد روش‌های MCDM در تشخیص گسترش کاربری اراضی در آینده، در مقیاس‌های محلی اندک است. بیشتر پژوهش‌های انجام شده پیشین برای کابرد MCDM در راستای رتبه‌بندی اولویت گزینه‌های مدیریتی از قبل تعریف شده یا سناریوهای برنامه‌ریزی شده بوده است، مانند: (Bagherzadeh and Bagherzadeh and Gholizadeh, 2017; Gholizadeh, 2016; Rooshanali, 2012; Fattahi *et al.*, 2021;). در حالیکه این روش‌ها قادرند نگرشی در راستای گسترش مکانی گزینه‌ها نیز ایجاد کنند (Seyedmohammadi *et al.*, 2018). همچنین باوجود پژوهش‌های بسیاری که در دهه‌های اخیر به کمک بهره‌گرفتن از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در زمینه تعیین تناسب اراضی و اختصاص بهترین الگوی کشت به آن‌ها شده است، راستی‌آزمایی روش‌های کاربردی در مطالعات انتشار یافته در کشور، کمتر مورد بحث قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی کارایی روش تاپسیس در اولویت‌بندی اراضی برای توسعه کشت زعفران در ایران بود. همچنین نتایج این روش، با روش پارامتریک ریشه دوم که یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی تناسب اراضی در ایران است، مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش، در فاصله سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸، ۱۳۵ مزرعه از مناطق زعفران‌کاری در استان‌های خراسان رضوی، خراسان جنوبی، فارس، مرکزی و کرمان انتخاب شدند. رقم کشت شده در تمامی مناطق، رقم قائن بود. مناطق به گونه‌ای انتخاب شد که بر پایه تجربه سال‌های پیشین کشاورزان و کارشناسان خبره سازمان جهاد کشاورزی، عوامل اقلیمی باعث محدودیت در مقدار کمّیت زعفران نباشد. با این حال به دلیل اهمیت مسائل آب و هوایی و تاثیر آن‌ها در مقدار عملکرد محصولات، به کمک جدول نیازهای رویشی اقلیمی برای زعفران (Zeinadini *et al.*, 2019)، شاخص اقلیم در مناطق مورد مطالعه محاسبه شد. این مناطق شامل شهر کرمان در استان کرمان، تربت حیدریه در خراسان رضوی، قائن در خراسان جنوبی، استهبان در فارس و خمین در استان مرکزی بود. برای این منظور از بانک داده موجود در نرم‌افزار ملّی تناسب اراضی شامل آمار هواشناسی و دوره‌های فنولوژی برای گیاه زعفران در هر منطقه استفاده شد (Navidi, 2019). بجز اقلیم، مدیریت کشت نیز بر عملکرد موثر است. بنابراین تلاش شد که مزارع انتخابی از نظر مدیریت (استفاده از نهاده‌ها، کمیت و کیفیت آب آبیاری) مشابه باشند تا تنها عوامل موثر بر مقدار تولید، ویژگی‌های خاک باشد. چراکه در این پژوهش، اولویت‌بندی اراضی برپایه شرایط حاکم بر خاک آن‌ها برای کشت زعفران، مدّ نظر بود. سپس در هر مزرعه یک پدون حفر، تشریح و طبقه‌بندی گردید (USDA, 2012) و از هر افق نمونه‌برداری خاک انجام شد. آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های خاک شامل pH گل اشباع، EC در عصاره گل اشباع، آهک به روش تیتراسیون برگشتی، کربن‌آلی به روش والکلی–بلاک اصلاح‌شده، فسفر قابل جذب به روش اولسن، سدیم قابل تبادل با روش استات آمونیوم یک نرمال در pH=۷، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیم یک مولار با pH=۷، ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از استات سدیم، درصد گچ با روش استن صورت گرفت. جداسازی اجزای مختلف شن، سیلت و رس نیز به روش هیدرومتر انجام شد (USDA, 2014). در هر مزرعه نیز پرسش‌نامه کاربری اراضی برای سه سال از ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۸، تکمیل گردید و مقدار متوسط عملکرد در این مدت برای هر نقطه مشاهداتی یادداشت شد. ویژگی‌های خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر با کاربرد ضرائب وزنی عمق، متوسط‌گیری شد. سپس یک بانک داده متشکل از خصوصیات خاک و عملکرد زعفران از نقاط مطالعاتی برای انجام تحلیل‌های آماری، تهیه شد.

پردازش آماری داده‌ها

پیش از انجام آنالیزهای آماری، میانگین وزنی برای خصوصیت خاک در هر خاکرخ با کاربرد ضرائب وزنی عمقی برپایه روش سایس و همکاران محاسبه شد (Sys *et al.*, 1991). سپس، آمار توصیفی برای داده‌های بدست آمده بررسی گردید. وضعیت پراکنش داده‌ها، گام اساسی در توصیف کمّی و آماری آن‌ها می‌باشد (Ghiasvand, 2016). شاخص‌هایی مانند میانگین، کمینه و بیشینه، اطلاعاتی در رابطه با موقعیت قرارگرفتن توزیع داده‌ها یا نقطه ثقل توزیع را نشان می‌دهند. واریانس و انحراف معیار نیز چگونگی پراکندگی داده‌ها را بررسی می‌نمایند (Mohammadi, 2006; Zeinadini *et al.*, 2022). وضعیت داده‌های پرت با استفاده از نمودار جعبه‌ای و نرمال بودن داده‌ها با استفاده از شاخص‌های کشیدگی و چولگی و آزمون کلموگوروف–اسمیرنف بررسی شد. در مرحله بعد، اثر ویژگی‌های مختلف خاک بر عملکرد زعفران، با استفاده از تجزیه‌وتحلیل‌های آماری و ضریب همبستگی، بررسی گردید. بدین ترتیب بر پایه نتایج آماری، مهم‌ترین عوامل خاکی موثر بر مقدار عملکرد زعفران برای مدل‌سازی و اولویت‌بندی با تاپسیس، انتخاب شدند. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام گردید.

روش شباهت به گزینهٔ ایده‌آل

روش تاپسیس یا شباهت به گزینه ایده‌آل به عنوان یک روش

تصمیم‌گیری چند معیاره، روشی ساده ولی کارآمد در اولویت‌بندی محسوب می‌شود. این روش را در سال ۱۹۹۲، چن و هوانگ با ارجاع به کتاب هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ مطرح کردند. مفهوم این مدل، انتخاب کوتاه‌ترین فاصله از راه حلّ ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی به منظور حل مسائلی است که با ضوابط تصمیم‌گیری متعدد، رو به رو هستند. از مهم‌ترین امتیازهای این روش، استفاده هم زمان از شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی است. همچنین، این روش به تکنیک وزن‌دهی حساسیت کمی دارد (Vafaeinejad, 2016). گام‌های محاسباتی در این روش به طور خلاصه شامل ساخت ماتریس تصمیم و نرمال‌سازی آن، وزن‌دهی به معیارها و ساخت ماتریس وزن‌دار، تعیین ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی، محاسبه فاصله هر گزینه از ایده‌آل‌ها، محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه به ایده‌آل مثبت با محاسبه شاخص رتبه‌بندی و در نهایت اولویت‌بندی یا ارجحیت گزینه‌ها است (Celikbilek and Tuysuz, 2020). این گام‌ها به شرح زیر اجرا می‌شوند (Tzeng and Huang, 1201):

۱-تشکیل ماتریس داده‌ها: نخست باید یک مجموعه از گزینه‌ها شامل $A=\{A_k \mid k=1, \dots, n\}$ و مجموعه‌ای از معیارها شامل $C=\{C_j \mid j=1, \dots, m\}$ را به شکل ماتریس داده‌ها با فرمت $X=\{X_{kj} \mid k=1, \dots, n; j=1, \dots, m\}$ تشکیل داد. سپس مجموعه وزن‌ها برای نشان دادن اهمیت هر معیار به شکل $W=\{W_j \mid j=1, \dots, m\}$ تهیه می‌شود. وزن‌دهی به معیارها می‌تواند با انوع روش‌های تعیین اهمیت و ارجحیت معیارها نسبت به یکدیگر انجام شود.

۲-نرمال‌سازی ماتریس داده‌ها: استانداردسازی برای بدون بعد کردن معیارها با استفاده از روش نرم اقلیدسی بر پایه رابطه ۱ انجام می‌شود:

$$r_{kj}(x) = \frac{x_{kj}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n} x_{kj}^2}}, k = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \qquad (۱)$$

۳-ایجاد ماتریس نرمال وزن‌دار با اعمال وزن‌های محاسبه شده در گام ۱ (W)

۴-محاسبه نقطه ایده‌آل مثبت (PIS) و نقطه ایده‌آل منفی (NIS) به کمک روابط ۲ و ۳:

$$PIS = A^{+} = \{v_1^{+}(x), v_2^{+}(x), \dots, v_j^{+}(x), \dots, v_m^{+}(x),\} = \{(max_k v_{kj}(x) | j \in J_1), (min_k v_{kj}(x) | j \in J_2) | k = 1, \dots, n\} \qquad (۲)$$

$$NIS = A^{-} = \{v_1^{-}(x), v_2^{-}(x), \dots, v_j^{-}(x), \dots, v_m^{-}(x),\} = \{(min_k v_{kj}(x) | j \in J_1), (max_k v_{kj}(x) | j \in J_2) | k = 1, \dots, n\} \qquad (۳)$$

در این روابط، J_1 و J_2 هر یک به ترتیب ویژگی‌های سود و زیان هستند. لازم به ذکر است که ماهیت معیارها و تاثیر آن بر هدف مورد نظر، در تعیین ایده‌آل مثبت و منفی تاثیرگذار است. به عنوان مثال اگر معیاری مانند هدایت الکتریکی خاک برای هدفی مانند کشت گیاه، مدّ نظر باشد، ایده‌آل مثبت گزینه‌ای است که کمترین مقدار شوری را دارا باشد. در زمان تعیین ایده‌آل‌ها، باید به این مسأله در کاربرد روابط ۲ و ۳، توجه داشت چرا که گاهی به جای بیشینه، در نظر داشتن کمینه یک متغیر، ایده‌آل مثبت را نشان می‌دهد.

۵-گام بعدی محاسبه فاصله هر گزینه از ایده‌آل مثبت (D_k^*) و ایده‌آل منفی (D_k^-) است:

$$D_k^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} [v_{kj}(x) - v_j^{+}(x)]^2}, k = 1, \dots, n \qquad (۴)$$

$$D_k^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} [v_{kj}(x) - v_j^{-}(x)]^2}, k = 1, \dots, n \qquad (۵)$$

۶-محاسبه ضریب نزدیکی نسبی هر گزینه به ایده‌آل‌ها:

$$C_k^* = \frac{D_k^-}{(D_k^* + D_k^-)}, \ k = 1, \dots, n \qquad (۶)$$

که در رابطه ۶: $C_k^* \in [0,1]$ و $\forall k = 1, \dots, n$

۷-در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها برپایه ترتیب نزولی براساس نزدیکی نسبی گزینه‌ها به ایده‌آل‌ها برای انتخاب بهترین گزینه انجام می‌شود.

پیاده‌سازی روش تاپسیس در نرم‌افزار Microsoft Excel 2016 انجام شد.

وزن‌دهی به معیارها

همانطور که در روش پیاده‌سازی تاپسیس شرح داده شد، وزن معیارهای ارزیابی باید تعیین شوند. هدف از وزن‌دهی به معیارها، تعیین اهمیت هر معیار نسبت به سایرین در راستای رسیدن به هدف پیش رو است. مرتب‌سازی معیارها در یک نظم ترتیبی، ساده‌ترین روش تعیین اهمیت آن‌هاست (Eskandari *et al.*, 2013). در این روش، رتبه‌بندی معیارها می‌تواند توسط گروهی از تصمیم‌گیران انجام شود. بنابراین پس از مشخص شدن ویژگی‌های موثر خاک بر عملکرد زعفران، از یک گروه سه نفره متشکل از افراد متخصص در زمینه کشت زعفران خواسته شد تا معیارهای ارزیابی را براساس اهمیتشان مرتب سازند. سپس با کاربرد رابطه ۷، وزن استاندارد هر معیار مشخص شد (Eskandari *et al.*, 2013):

$$W_k = \frac{n-k+1}{\sum_{i=1}^{n}(n-i+1)} \qquad (۷)$$

که در آن W_k معرف وزن استاندارد شده برای معیار kام، n تعداد معیارهای مورد نظر و k بیانگر موقعیت رتبه‌ای هر معیار است.

روش پارامتریک ریشه دوم

این روش یکی از روش‌های متداول ارزیابی تناسب اراضی است که در کشور ایران بسیار به کار برده شده است. برای تعیین شاخص خاک در این روش، نخست باید درجات مربوط به خصوصیات مختلف خاک محاسبه گردد. برای این منظور از جدول نیازهای رویشی خاک و زمین‌نما برای زعفران استفاده شد (Zeinadini *et al*., 2019). حداکثر تعداد ویژگی‌های خاک مورد بررسی، هشت عدد می‌تواند باشد (Sys *et al*., 1991). شاخص خاک در هر نقطه مطالعاتی به کمک ویژگی‌های مورد نظر خاک با کاربرد رابطه ۸، بدست می‌آید:

$$SI = R_{min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \ldots} \qquad (۸)$$

در این رابطه، SI نشان‌دهنده شاخص خاک، R_{min} نشان‌دهنده کمترین درجه اختصاص یافته به ویژگی‌های خاک و A و B و ...، نشان‌دهنده درجات مرتبط با سایر ویژگی‌های خاک است (Sys *et al*., 1991).

اعتبارسنجی

به منظور راستی‌آزمایی اولویت‌بندی گزینه‌ها با روش تاپسیس و شاخص خاک در روش پارامتریک، نتایج بدست آمده در هر دو روش، با مقدار عملکرد واقعی زعفران در هر یک از مزارع (گزینه‌ها) مقایسه شد. ضریب تبیین بدست آمده در هر دو روش، به عنوان پارامتر تعیین دقت مدل‌ها به‌کار رفت.

نتایج و بحث

تناسب اقلیمی برای کشت زعفران در مناطق مورد مطالعه به کمک نرم‌افزار ملی تناسب اراضی محاسبه شد. مقدار شاخص اقلیم، درجه اقلیمی و عامل محدودکننده (در صورت وجود) و کلاس تناسب اقلیمی هر یک از مناطق مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که شرایط آب و هوایی برای کشت زعفران در تمامی مناطق نسبتاً مشابه و مهم‌تر اینکه بدون محدودیت بوده است. بنابراین عوامل خاکی می‌توانند با اطمینان خاطر برای اولویت‌بندی اراضی برای کشت زعفران در نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده، به‌کار برده شود.

خلاصه آمار توصیفی داده‌های بدست آمده از ویژگی‌های خاک ۱۳۵ مزرعه زعفران، در جدول ۲ نشان داده شده است. برپایه این جدول، مقدار واریانس برای CCE، پتاسیم قابل جذب، شن، رس و سنگریزه، زیاد بوده و نشان‌دهنده پراکندگی گسترده این داده‌ها است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که زعفران در ایران، در طیف وسیعی از خاک‌ها کشت می‌شود. همچنین دامنه تغییرات CCE بین ۱۳ تا ۶۴ درصد متغیر بود. وجود آهک در خاک به‌طور مستقیم و غیرمستقیم باعث کاهش قابلیت دسترسی بسیاری از عناصر مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، آهن، منگنز، روی و مس می‌شود (Asadi Kangarshahi *et al*., 2015). بر اساس جدول نیازهای رویشی خاک و زمین‌نما برای زعفران (Zeinadini *et al*., 2019)، مقدار مناسب آهک در خاک برای کشت زعفران که باعث کاهش در مقدار محصول نشود، تا ۱۵ درصد می‌باشد.

میانگین شوری خاک در مزارع مورد بررسی در حدود ۸/۷ دسی‌زیمنس بر متر بدست آمد و در مورد سدیم قابل تبادل نیز این مقدار در حدود ۱۷/۸ بود. بنابراین مقدار متوسط هر دو متغیر در خاک‌ها از مقدار مجاز برای کشت زعفران که برای شوری، ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر و برای ESP، ۱۵ پیشنهاد شده است (Zeinadini *et al*., 2022)، بیشتر می‌باشد. در مقابل، مقایسه مقدار متوسط گچ، فسفر و پتاسیم قابل‌جذب در خاک‌ها با حدّ بحرانی ارائه شده برای هر یک که باعث کاهش در مقدار عملکرد زعفران می‌شود و به ترتیب برابر است با ۵٪، ۱۸ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Zeinadini *et al*., 2022)، نشان داد که مقدار این متغیرها در نمونه خاک‌های اخذ شده، نسبتاً مناسب است. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که برای اخذ عملکرد مناسب، سه متغیر درصد آهک، شوری و سدیمی بودن خاک‌ها در زعفران‌کاری‌های کشور، باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

جدول ۱- شاخص و کلاس تناسب اقلیمی برای کشت زعفران در مناطق مورد مطالعه

Table 1- Climate suitability index and class for saffron cultivation in the studied areas

ایستگاه هواشناسی	Meteorological station	شاخص اقلیم Climate index	درجه اقلیم Climatic rate	کلاس تناسب اقلیمی Climatic suitability class	عامل محدودکننده اقلیمی Climatic limiting factor
قائن	Qaen	79.36	88.10	S1	-
استهبان	Estahban	78.01	86.94	S1	–
تربت حیدریه	Torbat Heydariyeh	77.08	86.04	S1	-
کرمان	Kerman	75.57	84.68	S1	-
خمین	Khomein	75.27	84.42	S1	-

جدول ۲- آماره‌های توصیفی داده‌های خصوصیات خاک و عملکرد زعفران

Table 2- Descriptive statistics of soil properties and saffron yield

	دامنه Range	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Std. Deviation	واریانس Variance	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
آهک $CaCO_3$ (%)	51.0	13.0	64.0	37.03	12.78	163.28	0.25	-0.90
گچ Gypsum (%)	20.00	0.00	20.00	5.85	3.98	15.81	1.08	1.32
کربن آلی OC (%)	2.18	0.02	2.20	0.56	0.42	0.18	1.23	1.91
واکنش خاک pH	1.45	7.40	8.85	8.06	0.32	0.10	0.369	-0.01
هدایت الکتریکی EC (dS/m)	24.65	0.35	25.00	8.73	5.36	28.70	0.592	-0.01
درصد سدیم تبادلی ESP	43.6	2.4	46.0	17.84	9.90	98.05	0.59	-0.19
پتاسیم دردسترس K_{ava} (mg/kg)	235	115	350	222.81	54.63	2985.03	-0.14	-0.87
فسفر P (mg/kg)	37.5	8.5	46.0	21.88	8.54	73.09	0.53	-0.35
شن Sand (%)	72	25	97	66.76	15.42	237.99	-0.29	0.31
رس Clay (%)	60	2	62	23.68	13.48	181.92	0.50	0.08
سیلت Silt (%)	17	0	17	9.57	3.83	14.67	-0.75	-0.15
سنگریزه Gravel (%)	64	0	64	36.62	15.66	245.30	-0.61	-0.03
عملکرد Yield (g/ha)	12850	800	13650	5686.09	3447.28	11883752.10	0.52	-0.74

جدول ۳، ضریب همبستگی پیرسون میان ویژگی‌های خاک در مناطق مورد مطالعه را با عملکرد زعفران نمایش می‌دهد. برپایه این جدول، بیشترین همبستگی میان متغیرها با عملکرد به ترتیب مربوط به درصد سنگریزه، مقدار پتاسیم قابل جذب، سدیمی و شور بودن خاک‌ها، مقدار گچ و CCE، فسفر قابل جذب و مقدار واکنش و کربن آلی خاک است. در تمامی موارد، رابطه قوی و معنی‌دار در سطح یک درصد اطمینان میان عملکرد و متغیرها برقرار بود. رابطه عملکرد زعفران با مقدار کربن آلی خاک، فسفر و پتاسیم قابل جذب، مثبت و با سایر متغیرها، رابطه‌ای منفی داشت. از میان متغیرها، فسفر و پتاسیم که مرتبط با حاصلخیزی است و کمبود آن با کاربرد کودهای مختلف قابل تامین است، کنار گذشته شد و سایرین برای مدلسازی با تاپسیس و تعیین اولویت گزینه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. البته دلیل مهم‌تری نیز برای در نظر نگرفتن فسفر و پتاسیم قابل جذب در مدلسازی با تاپسیس وجود داشت. چراکه این دو متغیر در روش تعیین تناسب اراضی به روش پارامتریک ریشه دوم، مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. لذا به منظور فراهم آوردن شرایط مقایسه، باید ورودی‌های هر دو مدل مشابه باشند.

پس از مشخص‌شدن هفت ویژگی‌خاک موثر بر عملکرد زعفران، ترتیب نهایی متغیرها توسط تیم تصمیم‌گیرنده به این شکل تعیین شد: هدایت الکتریکی، درصد سدیم قابل تبادل، CCE، درصد سنگریزه، درصد گچ، درصد کربن آلی و در نهایت واکنش خاک. مقدار وزن اختصاص داده شده به هر یک از متغیرها، در جدول ۴ ارائه شده است. همانطور که این جدول نشان می‌دهد، مقدار وزن‌ها برپایه ترتیب اولویت‌بندی معیارهای ارزیابی مشخص شده‌اند. بنابراین مقدار شوری و واکنش خاک به ترتیب بیشترین و کمترین وزن را به خود اختصاص داده است. همانطور که گفته شد با توجه به معیارها و اثر مثبت یا منفی آن‌ها بر گزینه دلخواه، ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی در روش تاپسیس تعیین می‌شوند. به طور مثال در اینجا، همه معیارها بجز واکنش خاک و کربن آلی در حالتی ایده‌آل مثبت هستند که کمترین مقدار را داشته باشند. در مورد کربن آلی کاملاً برعکس است و با بیشتر شدن مقدار آن، شرایط خاک بهتر خواهد بود. برای در نظر داشتن ایده‌آل مثبت در مورد واکنش خاک، مقدار بهینه آن با توجه به

پژوهش‌های زین‌الدینی و همکاران در نظر گرفته شد (Zeinadini *et al*., 2022).

در شکل ۱، ترتیب اولویت‌های ۱۳۵ گزینه به روش تاپسیس و مقدار عملکرد واقعی زعفران در هر یک، نشان داده شده است. از این نتایج استنباط می‌شود که روش تاپسیس توانسته با دقتی قابل‌ملاحظه (R^2=۰/۹۱) هر یک از گزینه‌ها را برپایه مقدار عملکرد مورد انتظار، مرتب سازد. پیش از این نیز دقت روش تاپسیس در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی توسط پژوهشگران مختلف نشان داده شده بود (Seyedmohammadi *et al*., 2017; Tale Jenekanlou *et al*., 2015). دقت بالای این روش را می‌توان به دلیل استفاده از روابط و ماتریس‌های ریاضی، استانداردسازی داده‌ها به روش نُرم اقلیدسی و ماهیت مقایسه توأم فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی دانست (Seyedmohammadi *et al*., 2017). همچنین این نتایج نشان می‌دهد که روش وزن‌دهی رتبه‌بندی، به خوبی با روش تاپسیس هماهنگ شده است. بنابراین لازم نیست که برای وزن‌دهی به معیارها در روش تاپسیس، منحصراً از دو روش AHP و یا آنتروپی شانون استفاده نمود (Sarmadian and Ghavami, 2020). پر واضح است که سایر روش‌های وزن‌دهی نیز قابلیت همراهی با روش تاپسیس را دارند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش تاپسیس قادر است به خوبی از تعداد گزینه‌های بسیار زیاد و معیارهای مختلف که اثر منفی یا مثبت روی اولویت گزینه‌ها دارند، استفاده کند.

جدول ۳- نتایج همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل و عملکرد زعفران

Table 3- Pearson correlation results between independent variables and saffron yield

		عملکرد Yield(g/ha)	آهک $CaCO_3$(%)	گچ Gypsum(%)	کربن آلی OC(%)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC(dS/m)	درصد سدیم قابل تبادل ESP	پتاسیم دردسترس K.ava(mg/kg)	فسفر P(mg/kg)	شن Sand(%)	رس Clay(%)	سیلت Silt(%)	سنگریزه Gravel(%)
Yield (g/ha)	عملکرد	1												
$CaCO_3$ (%)	آهک	-0.874**	1											
Gypsum (%)	گچ	-0.887**	0.897**	1										
OC (%)	کربن آلی	0.687**	-0.644**	-0.620**	1									
pH	واکنش خاک	-0.732**	0.829**	0.817**	-0.550**	1								
EC (dS/m)	هدایت الکتریکی	-0.913**	0.929**	0.965**	-0.641**	0.822**	1							
ESP	سدیم قابل تبادل	-0.919**	0.941**	0.967**	-0.661**	0.821**	.987**	1						
K.ava (mg/kg)	پتاسیم در دسترس	0.929**	-0.916**	-0.898**	0.642**	-0.760**	-0.909**	-0.924**	1					
P (mg/kg)	فسفر	0.774**	-0.920**	-0.758**	0.563**	-0.754**	-0.804**	-0.828**	.831**	1				
Sand (%)	شن	-0.076	0.156	0.136	-0.224*	0.090	0.129	0.148	-0.106	-0.142	1			
Clay (%)	رس	0.053	-0.136	-0.076	0.205*	-0.054	-0.072	-0.095	0.089	0.158	-0.974**	1		
Silt (%)	سیلت	0.119	-0.151	-0.280**	0.180	-0.172	-0.265**	-0.260**	0.115	0.016	-0.599**	0.401**	1	
Gravel (%)	سنگریزه	-0.969**	0.910**	0.893**	-0.720**	0.784**	0.928**	0.933**	-0.898**	-0.809**	0.113	-0.079	-0.178	1

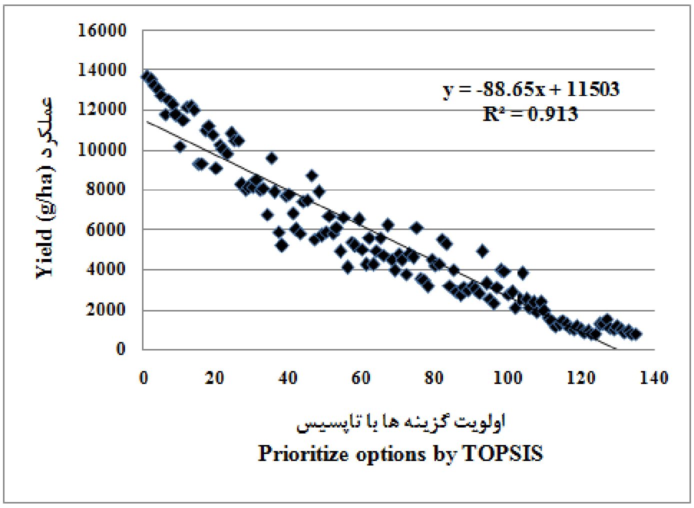
*همبستگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. — *Correlation is significant at the 0.05 level.

**همبستگی در سطح یک درصد معنی‌دار است. — **Correlation is significant at the 0.01 level.

جدول ۴- مقدار وزن اختصاص داده شده به هر یک از ویژگی‌های خاک موثر در عملکرد زعفران

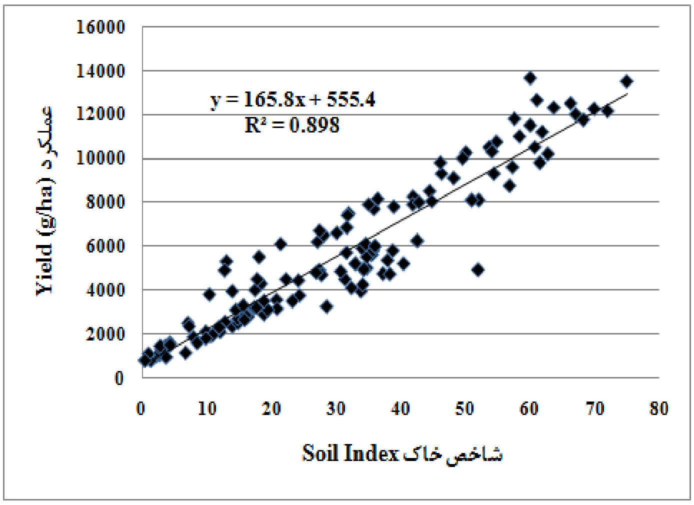
Table 4- The quantity of weights assigned to each of the soil properties affecting saffron yield

	آهک CaCO3(%)	گچ Gypsum(%)	کربن آلی OC(%)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC(dS/m)	سدیم قابل تبادل ESP	سنگریزه Gravel(%)
وزن معیارها Weights	0.19	0.1	0.04	0.01	0.28	0.24	0.14



شکل ۱- رابطه عملکرد زعفران با رتبه‌بندی گزینه‌ها (مزارع) به روش تاپسیس

Figure 1- Relationship between saffron yield and ranking alternatives (farms) by TOPSIS method



شکل ۲- رابطه شاخص خاک به روش پارامتریک ریشه دوم و عملکرد زعفران

Figure 2- Relationship between soil index by squre root parametric method and saffron yield

هرچند که در این پژوهش تنها از هفت معیار برای اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده شد، لیکن این روش به خوبی قادر است تعداد بالای معیارهای ارزیابی را نیز مدیریت نماید (Tzeng and Huang, 2011). بنابراین از این نظر نیز نسبت به روش پارامتریک که تنها قادر است حداکثر هشت معیار را در نظر گیرد، برتری دارد.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص خاک در ۱۳۵ نقطه مطالعاتی به روش پارامتریک ریشه دوم در مقابل عملکرد واقعی زعفران، در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پارامتریک نیز

به خوبی و بادقت قابل‌قبول (R^2=۰/۹۰) توانسته است شاخص خاک را در اراضی مورد مطالعه، تعیین نماید. این نکته حائز اهمیت است که در روش پارامتریک، از جدول نیازهای رویشی زعفران استفاده شد که بومی کشور ایران است. این جدول، برپایه مطالعات و پژوهش‌های پیشین که در کشور ایران انجام شده، تهیه شده است (Zeinadini *et al.*, 2019). بنابراین انتظار می‌رود که برای شرایط حاکم بر خاک‌های کشور و نوع غالب رقم مورد کشت بتواند نتایج مناسبی را ارائه دهد. با این حال، وزن‌دهی به معیارها در روش پارامتریک مدّ نظر قرار نمی‌گیرد و تمامی معیارها یکسان فرض می‌شوند. همچنین برای کاربرد این روش باید بر اصول اولیه و چگونگی تعیین درجه متناسب با هر یک از خصوصیات خاک، اشراف داشت. با در نظر داشتن این موارد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که اگر هدف، تعیین اولویت گزینه‌ها برای اختصاص به کاربری مشخصی باشد، روش تاپسیس از توانمندی بیشتری برخوردار است. چراکه کاربرد این روش، بسیار ساده بوده و به کمک یک نرم‌افزار صفحه گسترده مانند اکسل، بدون نیاز به تخصص ویژه مانند آشنایی با زبان‌های برنامه‌نویسی، قابل کاربرد است. تنها نکته‌ای که باید مدّ نظر پژوهشگران قرار گیرد، استفاده از دانش و تجربه افراد خبره در وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی است. در شرایط تصمیم‌گیری برای تعیین اولویت گزینه‌ها با تعداد زیاد و با در دست داشتن معیارهای مختلف ناهماهنگ، استفاده از روش تاپسیس پیشنهاد می‌شود. از سویی دیگر، در مسائلی که نیاز به ارزیابی‌های کمّی و تخمین مقدار عملکرد محصول را دارند، روش پارامتریک قابل توصیه است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با در نظر داشتن حدّ آستانه کاهش عملکرد در زعفران، سه ویژگی خاک شامل شوری، سدیمی و آهکی بودن، از اهمیتی ویژه برخوردارند. لذا برای اخذ عملکرد بیشتر در اراضی تحت کشت زعفران در کشور، برای اینگونه خاک‌ها باید مدیریتی مناسب به‌کار برده شود. به عنوان مثال، مدیریت تغذیه گیاهی و حاصلخیزی خاک برای خاک‌های آهکی در این اراضی باید مدّ نظر قرار گیرد. برپایه تحلیل‌های آماری، ویژگی‌های درصد سنگریزه، مقدار پتاسیم قابل جذب، سدیمی و شور بودن خاک‌ها، مقدار گچ و آهک، فسفر قابل جذب، واکنش و کربن آلی خاک، بیشترین اثر را بر مقدار عملکرد زعفران داشت. وزن‌دهی به معیارها به روش رتبه‌بندی توانست به خوبی در کنار روش تاپسیس به کار گرفته شود. اولویت‌بندی ۱۳۵ گزینه برای کشت زعفران نیز نشان داد که روش تاپسیس قادر است به خوبی ارجحیت گزینه‌ها را نسبت به یکدیگر مشخص نماید. دقت بالای این روش ناشی از روابط منطقی و مقایسه گزینه‌ها از هر دو ایده‌آل مثبت و منفی است. همچنین این روش می‌تواند برخلاف برخی دیگر از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به خوبی تعداد بالای گزینه‌ها را مدیریت کرده و آن‌ها را اولویت‌بندی نماید. روش تاپسیس در مقایسه با روش متداول ارزیابی تناسب اراضی موسوم به مدل پارامتریک ریشه دوم، به دلیل سادگی کاربرد و وزن‌دهی به معیارهای ارزیابی، توانمندی بیشتری در اولویت‌بندی گزینه‌ها از خود نشان داد. همچنین به دلیل توانایی در نظر داشتن تعداد بیشتر معیارهای ارزیابی نسبت به روش پارامتریک، در مسائل با معیارهای زیاد (مسائلی درگیر با معیارهای مختلف آب و هوایی، مدیریتی، کمیت و کیفیت آب در دسترس و خصوصیات خاک و اراضی)، استفاده از این روش پیشنهاد می‌شود. از آنجا که روش تاپسیس قادر است به خوبی اراضی در نظر گرفته شده برای توسعه کشت محصولات کشاورزی را اولویت‌بندی نماید، استفاده از این روش در مطالعات آتی انتخاب اراضی مناسب، قابل توصیه است.

سپاسگزاری

بخشی از داده‌های این مقاله از پروژه تحقیقاتی با عنوان "تعیین نیازهای رویشی برای زعفران در استان‌های فارس، خراسان رضوی، خراسان جنوبی و مرکزی" موسسه تحقیقات خاک و آب با شماره مصوب ۹۶۱۵۰۳-۰۹۴۵۲-۰۵۹-۱۰-۱۰-۰۱، برداشت شده است. نویسندگان این مقاله بدین وسیله از حمایت‌های موسسه تحقیقات خاک و آب، صمیمانه تشکر می‌نمایند.

منابع

1. Asadi Kangarshahi A., AkhlaghiAmiri N., and Samar M. 2015. Possibility of Using Chlorosis Degree and Active Iron (Fe^{2+}) to Assess the Tolerance of Some Citrus Rootstocks to Calcareous Soils. Iranian Journal of Soil Research 29(3): 296-284. (In Persian with English abstract). https://dx.doi.org/10.22092/ijsr.2015.103433.
2. Bagherzadeh A., and Gholizadeh A. 2016. Modeling land suitability evaluation for wheat production by parametric and TOPSIS approaches using GIS, northeast of Iran. Modeling Earth Systems and Environment. 2(126). https://doi.org/10.1007/s40808-016-0177-8.
3. Bagherzadeh A., and Gholizadeh A. 2017. Parametric-based neural networks and TOPSIS modeling in land suitability evaluation for alfalfa production using GIS. Modeling Earth Systems and Environment 3(2): 1-11. https://doi.org/10.1007/s40808-016-0263-y.
4. Celikbilek Y., and Tuysuz F. 2020. An in-depth review of theory of the TOPSIS method: An experimental

analysis. Journal of Management Analytics 7(2): 281-300. https://doi.org/10.1080/23270012.2020.1748528.
5. Eskandari M., Homaee M., Mahmodi S., and Pazira E. 2013. A New Landfill Siting Method Based on Land Classification Maps and GIS. Environmental Sciences 11(2): 121-132. (In Persian with English abstract). https://envs.sbu.ac.ir/article_95068.html.
6. Eskandari M., Homaeei M., and Mahmoodi S. 2013. Optimized Approach for MSW Landfill Siting Using MCDA and GIS. Environmental Sciences 11(3): 41-54. (In Persian with English abstract). https://envs.sbu.ac.ir/article_97284.html.
7. FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation. FAO Soils Bulletin No. 32. Rome.
8. Fattahi M., Mahdavi R., Rezaei M., and Esmaeilpour Y. 2021. Determination of optimal cultivation pattern of medicinal plants using AHP-TOPSIS hybrid model (Case study: Qom province). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 36(6): 885-897. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.342346.2749.
9. Ghiasvand A. 2016. Application of statistics and SPSS software in data analysis. 4th Ed. Motefakkeran Publications. (In Persian)
10. Kazemi H., and Akinci H. 2018. A land use suitability model for rainfed farming by Multi-criteria Decision-making Analysis (MCDA) and Geographic Information System (GIS). Ecological Engineering 116: 1-6. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.021.
11. Mohammadi J. 2006. Pedometry: Classical Statistics. Volume One, Pelk Publications, Tehran. (In Persian)
12. Navidi M.N. 2019. Design and preparation of land suitability evaluation software for field and orchard crops of the country.Soil and Water Research Institute. (In Persian with English abstract). https://nlss.ir/Home/AboutUs.
13. Pilevar A.R., Matinfar H.R., Sohrabi A., and Sarmadian F. 2020. Integrated fuzzy, AHP and GIS techniques for land suitability assessment in semi-arid regions for wheat and maize farming, Ecological Indicators (110): 105887. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105887.
14. Rooshanali M. 2012. Land suitability evaluation model based on the elements of the climate for the cultivation of rapeseed TOPSIS: A Case Study of Mazandaran province. Journal of Urban Ecology Researches 3(6): 67-80. (In Persian with English abstract). https://grup.journals.pnu.ac.ir/article_1119.html?lang=en.
15. Sarmadian F., and Ghavami M. 2020. Land Suitability Evaluation Using TOPSIS Method and Its Comparison with Parametric Methods for Maize Production in Part of Qazvin. Iranian Journal of Soil and Water Research 50(9): 2275-2287. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.273788.668095.
16. SeyedJalali S.A., Dehghan R., Azadi A., Zaeinaldini Mimand A., Navidi M.N., and Mohammad Esmaeil Z. 2020. Investigation of the effect of soil factors on sugarcane growth in sugarcane cultivated lands in khuzestan and mazandaran provinces. Soil Research 34(3): 343-357. (In Persian with English abstract). https://dx.doi.org/10.22092/ijsr.2020.343172.532.
17. Seyedjalali S.A., Eskandari M., Roshani G., Navidi M., Zareian G., Zeinadini Meymand A., and Ghasemzadeh Ganjehie M. 2021. Determining Soil and Landscape Requirements of cotton for Using in Land Suitability Evaluation. Iranian Journal of Cotton Researches 9(1): 69-88. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijcr.2021.352985.1162.
18. Seyedmohammadi J., Jafarzadeh A.A., Sarmadian F., Shahbazi F., and Ghorbani M.A. 2017. Comparing the Efficiency of TOPSIS, AHP and Square Root Methods in Cultivation Priority Determination for Wheat, Barley and Maize under Sprinkler Irrigation in Dasht-e-Moghan. Water and Soil Science 27(2): 45-59. (In Persian with English abstract)
19. Seyedmohammadi J., Sarmadian F., Jafarzadeh A.A., Ghorbani M.A., and Shahbazi F. 2018. Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. Geoderma 310: 178-190. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.09.012.
20. Sys C., Van Ranst E., and Debaveye I.J. 1991. Land evaluation. Part I: principles in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation, Agricultural Publication-No. 7, Brussels, Belgium, p 274.
21. Tale Jenekanlou A., Karimi M., and Taleai M. 2015. Residential Land Suitability Assessment Using Fuzzy Group TOPSIS-OWA. Journal of Geomatics Science And Technology 4(4) :29-46. http://jgst.issge.ir/article-1-82-fa.html.
22. Tzeng G., and Huang J. 2011. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. CRC Press, Taylor and Francis Group, A Chapman and Hall Book, Boca Raton.
23. USDA. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils. Version 3, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
24. USDA. 2014. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
25. Vafabakhsh J. 2003. Finding the potential of saffron cultivation areas in Iran. Mashhad, Publications of Scientific and Industrial Research Organization of Khorasan Center. Pages 99-108. (In Persian)

26. Vafaeinejad A. 2016. Cropping Pattern Optimization by Using of TOPSIS and Genetic Algorithm Based on the Capabilities of GIS. Iranian Journal of Ecohydrology 3(1): 69-82. (In Persian with English abstract). https://dx.doi.org/10.22059/ije.2016.59191.
27. Wang P., Zhu Z., and Huang S. 2017. The use of improved TOPSIS method based on experimental design and Chebyshev regression in solving MCDM problems, Journal of Intelligent Manufacturing 28(1): 229-243. https://doi.org/10.1007/s10845-014-0973-9.
28. Zeinadini A., Navidi M., Asadi Kangarshahi A., Eskandari M., Seyedjalali S., Salmanpour A., Seyedmohammadi J., Ghasemi M., Ghaffarinejad S., and Zareian G. 2021. Effect of Soil Characteristics on Yield and Preparing the Crop Requirements Table of Oranges in Selected Areas of Iran. Water and Soil, 35(3): 395-407. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2021.68421.1017.
29. Zeinadini A., Navidi M., Eskandari M., Seyedmohammadi J., Toomanian N., Hosseinifard S., Farajnia A., and GhasemzadehGanjehie M. 2020. Determination of Soil and Landscape Requirements of Pistachio for Use in Land Suitability Evaluation. Journal of Pistachio Science and Technology 5(9): 70-88. (In Persian with English abstract). http://pistachio.vru.ac.ir/article_119177.html?lang=en.
30. Zeinadini A., Navidi M.N,. Seyedmohammadi J,. Jafari M., Salmanpour A,. Eskandari M., Moghimi A., and Fatehi Sh. 2021. Investigating the effect of land characteristics on yield and rating of fig vegetative requirements in important cultivated areas. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology (Accepted). (In Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807154.1400.22.2.8.1.
31. Zeinadini A., Navidi M.N., Eskandari M., Seyedjalali S., Seyed Mohammadi J., Moghimi A., Gasemzade Ganjehie M., Moghri A., and Pahlavanrad M. 2022. Investigation of land characteristics and preparation of soil requirements table for saffron. Saffron Agronomy and Technology 9(4): 395-408. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22048/jsat.2021.286314.1426.
32. Zeinadini A., Seyedjalali S., Navidi M., Eskandari M., Seyedmohammadi J., Dialami H., Moghimi A., and Pozeshshirazi M. 2020. Preparation of soil and landscape requirements table for Date palm to use in land suitability evaluation. Journal of Water and Soil Conservation 27(5): 89-107. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/jwsc.2021.17510.3297.
33. Zeinadini A., Toomanian N., Navidi M.N., Farajnia A., and SeyedJalali A.R. 2019. horticultural crops requierments. Soil and Water Research Institute. Karaj. 310p. (In Persian)